

## クロコオロギを用いた実験の検討

犬 飼 哲 夫 \*

この研究は、沖縄県に生息するクロコオロギ *Gryllus bimaculatus* DE GEER の生活史と物質交代について調べ、実験例をあけて教材としての活用を検討したものである。

生活史については、胚発生や不完全変態の過程、温度と成長期間の関係、及び成虫の生殖活動について述べ、物質交代については、摂餌量や摂餌窒素量のゆくえの追求から、♂令虫は生産タイプ、成虫♂は低代謝タイプ、成虫♀は生殖タイプと、それぞれの生活活動に対応した特徴的な物質交代を行っていることを述べたものである。

### 1 はじめに

自然の事物、現象に直接触れる学習の重視という主張が最近一層強くなされるようになってきた。これらを踏まえた教材の妥当性は次の二つの観点から検討される必要がある。

第一は、学習者にとって、興味・関心の高い身近な素材が、その特性を生かした形で教材化されなければならないということである。例えば、昆虫の成長を調べるにあたって、身近なモンシロチョウを飼育観察することは望ましいことである。しかし、不完全変態の学習では、スズムシ、エンマコオロギは成長期間が長期にわたるため、モンシロチョウと比較する形で一生を追求することは困難であった。したがって、身近な教材から出発しても、それだけでは学習内容を十分に追求し切れない場合、相補的に組み合わせて充実させる教材が必要になってくる。クロコオロギは成長期間が短く、完全に一生を追求できることから、併用してねらいに迫る教材として検討することは意味のあることと考えられる。

第二は、学習のねらいに直接適合した具体的教材を欠いたまま視聴覚教材等で机上だけの学習がなされることを避けるため、適切な教材が開発され、学習に位置づけられなければならないことである。例えば物質交代の学習においてその全体を概括的にとらえ、見通しをたてる適当なモデル実験が不足していたことが指摘される。クロコオロギを使うと、物質の出入りの収支決算をある程度量的にとらえることができることから、教材化の可能性を検討する意義があろう。

これらのことからクロコオロギを用いたいくつかの実験を検討したので報告する。

### 2 素材としてのクロコオロギ (*Gryllus bimaculatus* DE GEER)

クロコオロギは昆虫綱、有翅亜綱、直翅目、コオロギ科に属し、奄美・先島諸島、台湾等に分布する。<sup>1)</sup> 30℃前後では、約1ヶ月の周期で世代を繰り返す多化性で、卵は休眠期を有しない。

これは各地の両生類研究者たちによってカエルの餌として飼育されるようになっている。クロコオロギの成長過程については西岡<sup>2)</sup>、野村・川崎<sup>3)</sup>によって簡単な報告が出されている。

### 3 クロコオロギの生活史

#### (1) 産卵と胚発生

\* 理科長期研修員（五泉地区理科教育センター，五泉市立五泉小学校）

### ＜クロコオロギの飼育＞

アクリル板で自作した図1のような飼育箱を用い、27℃の定温器内で飼育した。

餌は市販のウサギの固形餌を粉末にして与え、水は図1のような水飲器で与えた。

### ＜採卵方法と胚発生の観察＞

脱皮直後の成虫♂、♀各3個体ずつを27℃で飼育すると間もなく交尾し、♀は水飲器の湿った脱脂綿中に産卵管をさし込んで産卵する。毎朝脱脂綿を回収し、卵数を数えた。発生の観察のため、卵を湿った脱脂綿と共に腰高シャーレに入れ、27℃に保ち随時観察した。

### ＜結果＞

① 産卵数： 成虫♀は脱皮後4～5日で産卵を開始し、図2のように約50日間産卵し続けた。1個体あたり1日平均約80個、一生の間に約4,300個産卵した。期間中の産卵数の増減には特徴的な傾向が見られ、産卵開始期には少なく、その後増加し、また次第に緩やかに減少して終期に至るという産卵曲線が得られた。

② ふ化： ふ化に要する日数は表1のように温度により差があり、30℃ぐらいが最も短い。またふ化率は表2に示したように100%に近い。

③ 発生段階： 卵は長径3mm、短径1mmで米粒状である。昆虫卵としては大型で、しかも卵殻膜がふ化時まで透明であるため中の様子を観察しやすい。ふ化までの変化のようすを表3にまとめた。

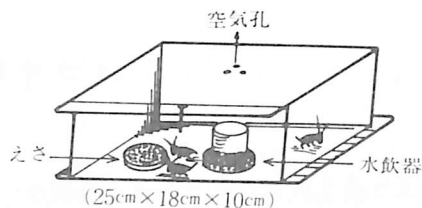


図1 飼育箱

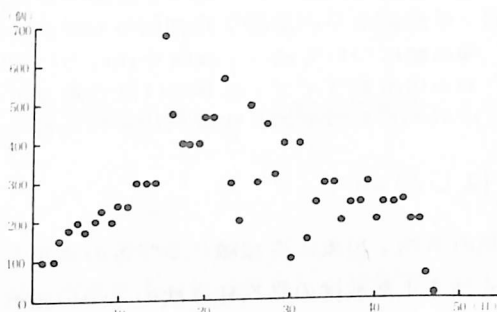


図2 産卵数の変化（3個体あたり）

表1 温度とふ化日数

	産卵日	ふ化日	ふ化日数
室温	8月29日	9月7日	9日間
	10月1日	10月14日	14日間
	10月21日	11月7日	17日間
定温	温度(℃)		ふ化日数(日間)
	23		31
	25		13
	27		9
	30		4
温	33		6

表2 ふ化率

産卵数(個)	ふ化数9日目(個)	ふ化数10日目(個)	合計(個)	ふ化率(%)
1	100	72	25	97
2	100	88	12	100
3	100	77	21	98
4	100	90	5	95
5	100	80	17	97

表3 クロコオロギの発生のようす

0日目	黄色で水飴状の卵黄に満たされ、透過光で卵黄粒が認められる。
1日後	表層の原形質層は薄く、この段階では見分け難い、卵の後端部から卵黄ブロックができ始め、亀甲模様が広がる。
2日後	後端部に原形質の肥厚部が認められる。亀甲模様が卵全体に広がる。
3日後	原形質肥厚部に陥入が認められる。卵の前端部にすき間ができる。
4日後	胚体形成が進み、胚頭部より反転が始まる。
5日後	反転が終了し、頭部を前端部に向けた状態となり、頭部、背部に卵黄が残る。
6日後	頭部の卵黄がなくなり、卵全体に体が伸びる。胸腹背部に卵黄が包み込まれる。
7日後	背部の卵黄が認められなくなり、背中線に血流が見られる。
8日後	卵の前端部に輪状の線ができ、さらにその先端には黒い色素の吸着が認められる。
9日後	ふ化、胚は激しく運動し、卵殻膜を破って頭部を出し、最後に脚が出る。

### ＜考察＞

脱皮直後交尾が行われるが、産卵開始まで4、5日を要することから、成虫♀では脱皮後数日間で成熟卵が形成されるものと考えられる。エンマコオロギを同様の方法で産卵させ、卵を観察したが、これ

は休眠期があり、寒冷刺激でふ活されるまでは卵の変化は認められなかった。これに対してクロコオロギ卵は直ちに発生を開始し、27℃では9日目で、大部分がふ化した。このようにクロコオロギ卵は休眠期を持たないため胚発生を観察には適している。

更に卵は大型、透明であることから卵割や胚体形成過程の観察が容易なこと、また温度を変えることにより発生の速さ

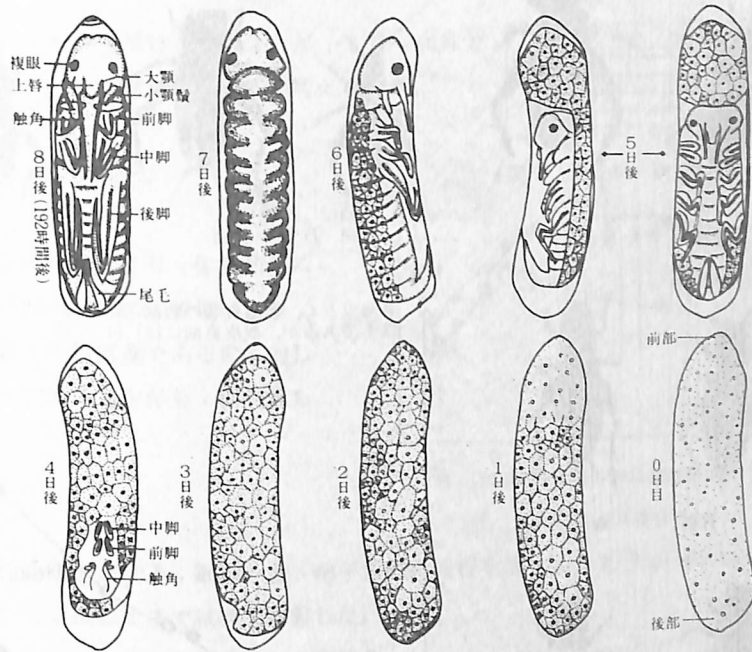


図3 クロコオロギの胚発生

を調節することが可能(表2)であり各発生段階の卵を準備しやすいことも観察に適している。

このほか、交尾、産卵、ふ化の場面を観察させることが可能である。

## (2) 変態の過程

### <令期と体形の変化>

成長に個体差があるため、飼育個体の約半数が脱皮した時点で次令へ進んだものとした。体重は20個体の平均体重を、体長は頭部先端から腹部末端までの長さの平均を求めた。1飼育箱あたり100個体(1令時)を27℃で飼育した。

### <結果>

①令の特徴と♂, ♀の区別: 表4, 図4の通りである。

表4 各令の特徴

1令	前, 中胸部が黄色。	6令	♀に産卵管が現われる。
2令	前, 中胸部の黄色が薄く残る。	♂の産卵管は背面からみてもわかるようになる。	
3,4令	特に目立った特徴なし。	7令	翅の原基が現われる。
	脚の色が黒褐色から茶色になる。	8令	産卵管, 翅の原基共にさらに伸びる。
5令	腹部8節に♂♀の違いが現われる。♂は8節目まであり, ♀は8節目が小さく, 腹部が7節から成っているかに見える。	成虫	翅の基部に黄褐色のはん点がある。 ♂の翅には発音器と共鳴器がある。

②令と体重, 体長の変化: 27℃の飼育の結果は図4の通りである。

③令と成長日数: 27℃で飼育した場合の若虫の成長と各令期間を図4に示した。室温飼育においてはふ化から成虫になるまでの期間は, 8月下旬で42日, 9月上旬で51日であった。

④体各部の相対成長: 1令虫における体各部を1とした場合の各令虫の相対成長を図5に示した。

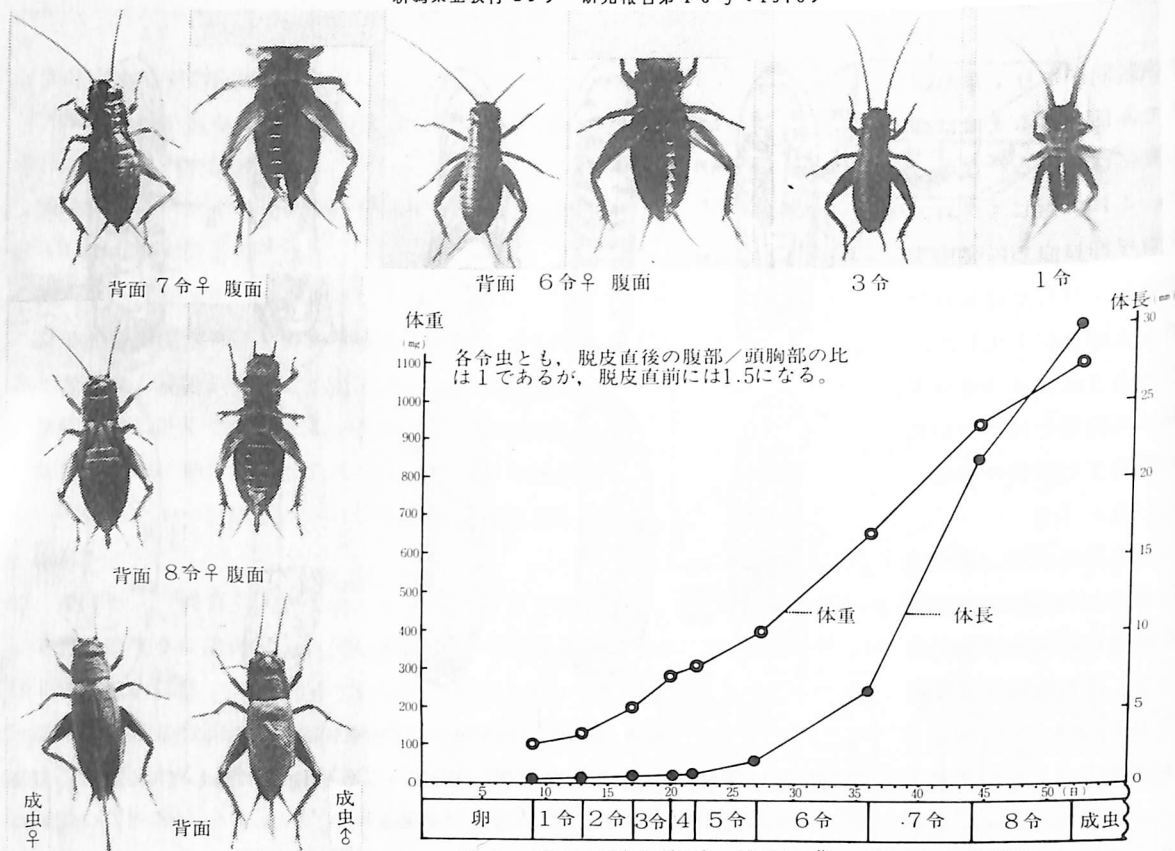


図4 成長日数と体重, 体長変化, 及び各令の形態

## &lt;考察&gt;

体重は図4のように, 6令までは緩やかに増加し, それ以降急激に増加する。成虫の体重を1令虫と比べてみると, 体重は670倍, 体長は11倍に成長している。

体の各部分の成長は, 6令以降の伸長が急激である(図6)。触角は7令以降, 伸長の相対値が低下する。尾毛は8令以降の伸長が著しい。脚は4令まで脛節, 跗節が伸長し, 以後は腿節の伸びが急激であった。

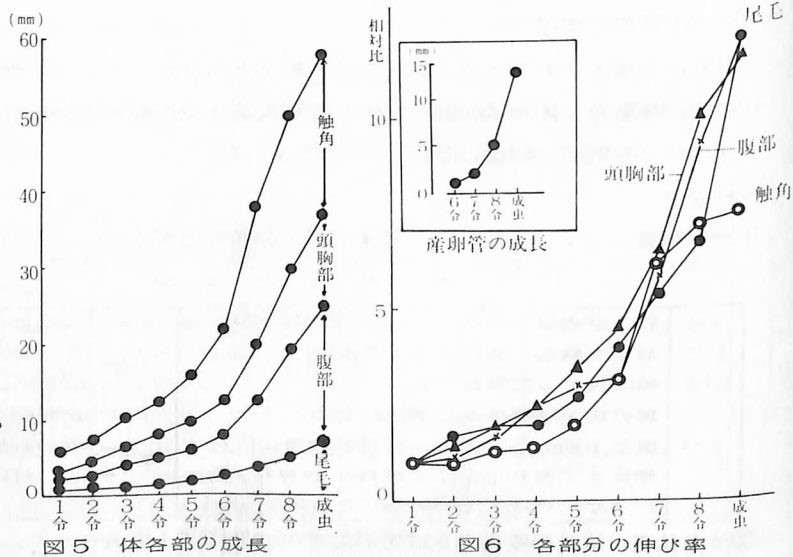


図5 体各部の成長

図6 各部分の伸び率

6令が形態的にも性的にも著しく成長をとげ, 若虫期における転換期といえる。児童, 生徒は不完全変態というと, 若虫がただ大きくなったものと考えやすいが, 体の各部分は一定の傾向を持つ成長を示すことから, 相対成長の概念を例示することができる。



成長期間は温度により著しく影響を受ける(図7)が、6月~10月では、教室でかなり適温(30℃)に近い飼育ができると考えられる。

飼育温度	10	20	30	40	50(日)
23℃					54日間
25℃					26日間
27℃					15日間
30℃					11日間
33℃					12日間

図7 7令~成虫までの期間

### (3) 成虫の体重変化

成虫♂, ♀の体重変化を図8に示した。

#### <考察>

成虫の♂, ♀では生活活動の相違により、体重変化に特徴が見られる。♂は成虫期間の前半に体重増があり、その時期が活動(交尾, 摂餌)の最盛期であるのに対して、♀は死の直前までほぼ一定の体重を保ち、摂餌量も衰えない。

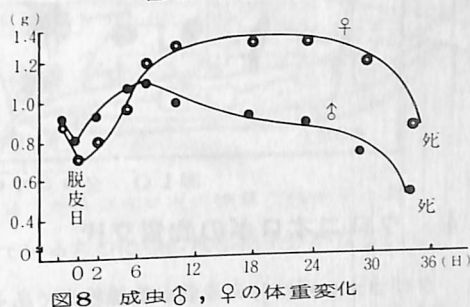


図8 成虫♂, ♀の体重変化

### (4) 精巣の発達

#### <方法>

クロコオロギの精巣の発達過程における、細胞分裂、精子形成の過程を調べるためクロコオロギの6令~成虫までの精巣を摘出して、次の2法で試料を作製した。

①パラフィン切片法: エオシン, ヘマトキシリンの二重染色。

②押しつぶし法<sup>4)</sup>: 摘出した精巣を10分間水処理した後、カミソリで二分し内容物をスライドガラスに塗り付ける。染色液を1滴落し5分間放置する。カバーガラスをかけ、割りばしの頭で軽くたたき内容を広げる。ろ紙をあて、指で強く押しつぶして観察。染色液は1%フクシンと酢酸オルセインの1:1混合液を使用した。

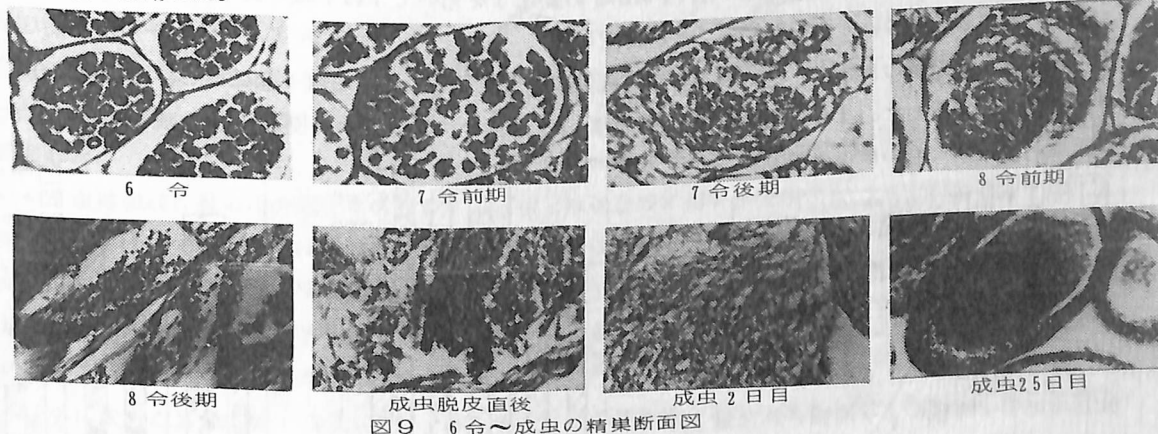


図9 6令~成虫の精巣断面図

#### <結果と考察>

精巣は図9に示したような発達過程をたどった。6令, 7令では管内に精母細胞がいっぱい認められるが, 8令になると減数分裂中の細胞や性細胞が認められ, 8令後半では変態過程の精子が見られる。成虫2日目には, 成熟精子が多数形成されている。しかし成虫25日目になると管内に精子はほとんど見られなくなる。この変化は成虫の体重変化(図8)や物質交代(図12, 図13)の特徴と一致する。

精子形成過程のうちから, いくつかの段階を選んで図10に示した。

押しつぶし法による動物細胞の分裂(減数分裂)の観察(8令が最適),性細胞より精子への変態過程の観察にクロコオロギの精巣が活用できよう。

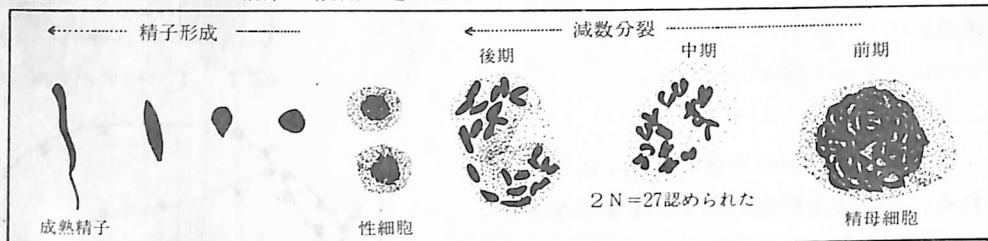


図10 クロコオロギの減数分裂,及び精子形成過程

#### 4 クロコオロギの物質交代

クロコオロギは与える餌が乾燥粉末であること,糞は固形であることなどから,物質の出入りする量を測定しやすい利点を持っている。このことから,摂取された餌のゆくえを追求することを通して物質交代を概括的にとらえ,物質交代の学習におけるモデル実験の可能性を検討した。

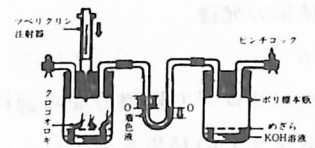


図11 呼吸量測定装置

- (1) 摂餌量,排出量,体重等の測定: 各成長段階の虫5個体ずつ,2グループを27℃で飼育した。あらかじめ5個体の総体重を測っておき,一定量の餌を与え,3日後に,残り餌,糞量,体重増加分を測定した。但し尿として排出される尿酸重量は無視できると考え,糞+尿酸=糞として測定した。
- (2) 窒素の定量: micro-Kjeldahl法(Parnasの変法)を用いて,餌,残り餌,虫体,卵,飼育箱に敷いた紙のしみについて上記実験群ごとに測定した。
- (3) 呼吸量,発熱量の測定: 図11のような呼吸量測定装置を用いて各令虫5個体について16℃~33℃まで各40分間測定した。また呼吸熱は魔法瓶(容積1ℓ)を用いて測定し,温度計は1/10度計を使用した。

<結果> 表5 餌の窒素のゆくえ

	摂餌N <sub>量</sub>	糞N <sub>量</sub>	摂餌N <sub>量</sub>	摂餌Nのゆくえ			
	A	B	A-B	体内蓄積 <sub>量</sub>	卵	紙のしみ <sub>量</sub>	不明 <sub>量</sub>
3令	231	75	156	47		50	59
4令	396	215	181	52	110	9	10
7令	203	106	95	51		20	24

- (1) 各令虫の生重量1gあたりの摂餌量,体重増加量,呼吸により消費された量,糞量(末,不消化分+尿酸),卵量をそれぞれ図12に示した。

- (2) 各令虫の生重量1gあたりの摂餌N量,体内蓄積N量(体重増減分),糞N量,卵N量,不明分N量をそれぞれ,表5,図13に示した。

- (3) 酸素消費速度,及び呼吸熱の測定結果を図15,図16にそれぞれ示した。

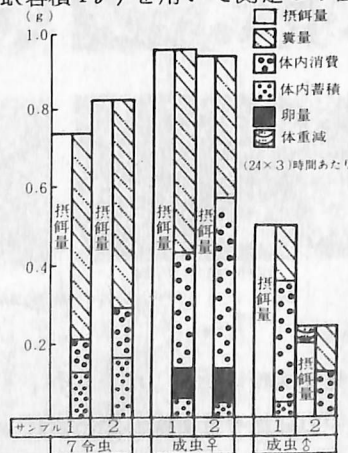


図12 摂食された餌のゆくえ

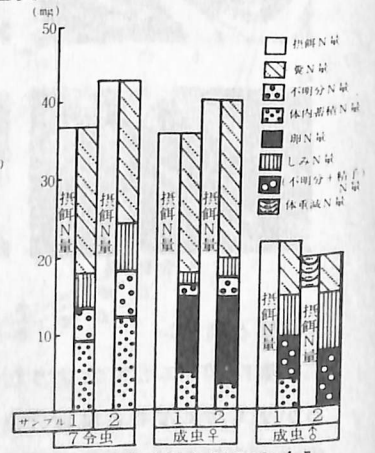


図13 摂食されたNのゆくえ

## &lt;考察&gt;

(1) 7令虫は摂取量のうち0.15g(約54%)を体構成に用いており、成虫♂・♀に比べ成長期の特徴を表わしている。これはいわば生産タイプといえよう。

成虫♀は0.13g(約25%)を体構成に用いているが、そのうち約60%を卵形成に向けており、生産タイプとしての特徴が明らかである。

成虫♂は摂餌量、摂取量とも他と比べて少なく低代謝タイプの特徴を示している。体内消費量として示されているものの中に放出精子分が含まれているが、この放出された精子分の測定はできなかった。

(2) 摂取された栄養物質の構成元素C, H, O, NのうちC, H, Oは気体の形で体外へ排出されるのに対して、Nは尿酸として排出される。したがって摂取N量、体内蓄積N量、排出N量を測定することにより、原理的には収支のN量の保存関係や、主としてタンパク質の物質交代が追求できる。

Nの定量結果から次のことが考察された。

7令虫は摂取N量の半分以上を体構成に、成虫♀は卵形成に使い、生産タイプ、生殖タイプの特徴をやはり顕著に示している。成虫♂については放出精子を測定できなかったため不明分が多く、♀との比較ができなかった。また飼育箱に敷いた紙のしみから相当量のNが測定されたが、糞由来のしみか、尿由来のしみかは判定できなかった。各令虫とも〔摂取N量〕>〔体内蓄積N量〕+〔体外に失ったN量：卵、精子、尿酸、糞、紙のしみの各N量〕となり等式とならなかった。この差は紙のしみの回収もれや体表からの脱落Nなどがあったためと推定された。

以上(1)、(2)から各令の虫の生活活動の様子と物質交代のタイプとが密接な対応関係を示したことは、興味深いことであった。

(3) 各令虫とも16℃～38℃まで温度が高くなるにつれて呼吸量が多くなった。また27℃において7令虫と成虫♂はほぼ等しく、成虫♀はそれに比べて低かった。各令虫の呼吸熱の大きさは容易に測定でき、ほぼ呼吸量のそれと一致した。しかし摂餌量から推定した呼吸による消費量とは必ずしも一致してい

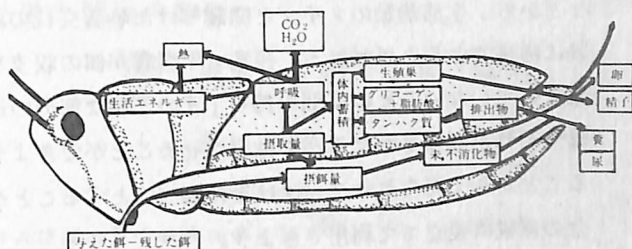


図14 クロコオロギの物質交代モデル図

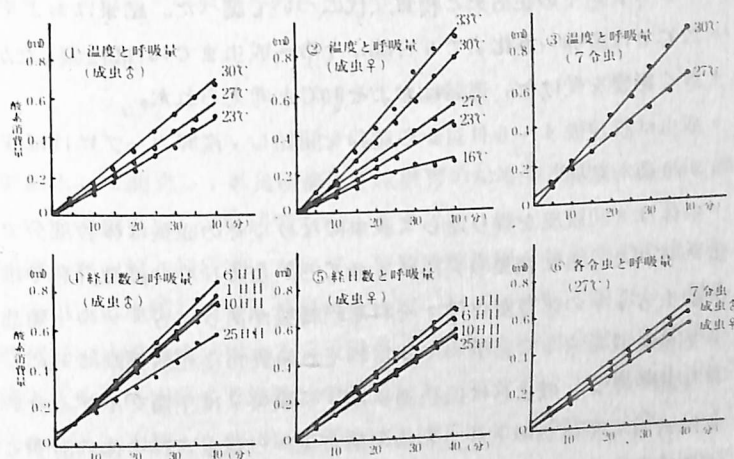


図15 呼吸量(生重1gあたり)

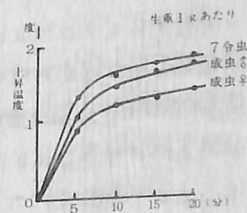


図16 呼吸熱

ないが、その原因は測定時間や、その他実験条件の違いによると推定した。

以上のことからクロコオロギは、摂餌量、排出量、体重増加量、排卵量などを容易に秤量できることなどから、生活活動のタイプと関連づけた物質交代のありさまを概括的にとらえるモデル実験として有効に活用できると思われる。授業で学習者が餌の収支を追った場合、まず一見して、物質保存の法則が成立していないことに疑問を持ち、その不明な部分の追求から、生活エネルギーや体構成、卵、精子形成へそれが転換されたことを推定させることができよう。その場合、呼吸量、呼吸熱が容易に測定できることから、得られたデータはその裏づけとすることができる。またN量追跡のデータは物質保存の概念の育成に役立てて利用できよう。

## 5 おわりに

クロコオロギの生活史と物質交代について調べた。結果はおよそ次のようにまとめられる。

- 27℃では産卵～ふ化まで9日間、1令～成虫まで43日間を要したが、胚発生、若虫の成長は温度により大きく影響を受けた。適温はおよそ30℃と考えられた。
- 成虫は脱皮後4～5日目から産卵を開始し、産卵カーブはほぼ正規分布を示し、約50日間で1個体約4,300個を産卵した。
- 虫体は8回脱皮を繰り返して成虫になり、その成長は体各部分で、それぞれ特徴を持った相対成長が認められた。また精巣の発達は8令ごろから著しく、減数分裂や精子形成の過程を追跡できた。
- 成虫♂、♀の体重変化は、それぞれ特徴があり、♂・♀の生殖活動と密接な関係が認められた。
- 7令、成虫♂、♀において、それぞれ特異的な生活活動に対応した物質交代の特徴が見られ、7令虫は生産タイプ、成虫♂は低代謝タイプ、成虫♀は生殖タイプとそれぞれ類型化できた。
- 呼吸量、呼吸熱の大きさと餌の消費量から推定される体内消費との間の明確な対応関係はつかむことができなかった。脱皮後の成虫♂、♀の呼吸量の変化は、それぞれの体重変化と一致した。
- 教材としてクロコオロギは飼育が簡単であり、多化性であるため年中揃えておけることや、成長期間が短いことなどから、不完全変態の観察、卵や胚発生の観察、環境条件との関係を調べる実験、摘出した精巣による減数分裂の観察など広い範囲で学習への活用が可能である。しかしこの場合クロコオロギは身近かに生息している昆虫でないことに留意しなければならない。また諸量の秤量や測定が容易であることから物質交代のモデル実験として学習に有効に活用できる可能性をもっている。

おわりに、窒素の定量に際しては、御多忙中、多大の便宜を与えてくださり、かつ懇切に御教示いただいた新潟大学教養部清水泰二教授はじめ研究室の方々に心から御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 伊藤修四郎ほか：原色日本昆虫図鑑(下)(1977) 70
- 2) 西岡みどり：遺伝 29, 3 (1975)
- 3) 野村俊朗・川崎立夫：フタホシコオロギの教材化について、全理セン研究発表集録(1977)
- 4) 堀川芳雄ほか：生物学実験法講座 1(1968) 105～109
- 5) 新潟大学医学部：生化学実習の手引き 40～42